

析出硬化型銅合金材料のスポット溶接用電極への応 用について (第1報)

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2013-11-01
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 土井, 昇, 辻, 宜秀, 平井, 守
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00008133

# 析出硬化型銅合金材料のスポット溶接用電極 への応用について(第1報)

# The Application of Precipitation-Hardening Type Materials of the Copper Alloy for the Spot Welding Electrode

土井 昇\* 辻 宜秀\* 平井 守\*

# Noboru DoI\*\*, Yoshihide TUJI and Mamoru HIRAI\*\*

(昭和50年9月5日 受理)

# 1. 緒 言

非鉄材料は,鉄鋼材料におこなわれる変態を利用した熱処理効果は得られないが,これにかわる熱処理効果として時効硬化があり,時効硬化が明らかに第2相の析出に原因すると認められるときは析出硬化といわれ,非鉄材料の強さを増大させる重要な手段である.

この種の材料の中で,析出硬化型銅合金は,Cu-Ag,Cu-Cr<sup>1</sup>,<sup>3</sup>),Cu-Co,Cu-Fe<sup>1</sup>等の1次 固溶体,または第2成分金属を析出する型のもの,Cu-Au-Ag,Cu-Ni-Co<sup>2</sup>),Cu-Ni-Fe 等の A,B両成分金属と同型の1次固溶体を析出する型,Cu-Be<sup>2</sup>),Cu-Ti<sup>1</sup>),Cu-Co<sub>2</sub>Si,Cu-Ni<sub>5</sub>Si<sub>2</sub>, Cu-Fe<sub>2</sub>P等の金属間化合物,あるいは中間の固溶体を析出する型等,数多くあり,工業製品, 生産機械への応用とその役割は大きい.

本実験は、スポット溶接用電極材料の性質上必要な良電気伝導性、良熱伝導性、高温における耐摩耗性と耐軟化性の優れた材料を開発するのに先立ち、第1報は、現在スポット溶接用電 極材料として市販されている析出硬化型銅合金の中の Cu-Be-Ni-Co, Cu-Cr, Cu-Cr-Zr 合 金の丸棒と市販の純銅の丸棒を用いて電極を製作し、その後スポット溶接機に取付け、設定さ れた実験条件のもとに所定の溶接打点数まで、実験を繰返し、溶接中の摩耗を伴なう電極先端 の変形量、溶接中の電極先端の硬度、被溶接材のせん断強度等と溶接打点数との関係について それぞれ考察したのでここに報告する.

従来この種の研究報告は限られているが,一定の溶接強度を保持するために関係する電極の 使用寿命と品質管理の方向からも重要である.本報告が諸方面で参考になれば幸いである.

#### 2. 実験装置および実験方法

市販の4種類の材料 Cu-Be-Ni-Co, Cu-Cr, Cu-Cr-Zr, PureCu は,表-1に示す化学成分 と機械的および電気的性質をもち,図-2に示す電極の形状に、 Ø16の丸棒から旋削した.電 極先端は,R25の球になっており,溶接開始前の上下電極は,点接触の状態にした.

本実験に使用した溶接機は、図-1に示す基本結線図®からなり、図中の電極保持具に電極

<sup>\*</sup> 機械工学科

<sup>\*\*</sup> Department of Mechanical Engineering

合金名	化学成分(%)						合金の性質			
	Cr	Be	Ni	Zr	Co	Cu	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup>	: 伸び ) (%)	硬さ ( <b>Hv</b> )	電導率 (%)
Cu-Be-Ni-Co alloy	_	0. 3	1.5	-	0. 1	Bal.	85. 0	10.0	220	57.0
Cu–Cr alloy	1.1	-	_			Bal.	49. 7	22. 0	155	85.1
Cu-Cr-Zr alloy	0. 78			0.13		Bal.	57.0	19.0	180	75.0
Pure Cu	—			-		99.96	38. 0	16.0	105	100.0

表一1 銅および銅合金の化学成分と性質





図ー1 スポット溶接機の基本結線図(油圧加圧式)

図-2 電極チップの形状

を取付け、電極の加圧力は上部電極保持具直上の油圧シリンダによって、保持具を介して上部 電極を下部電極に押付けることによって負荷される.なお電極は、溶接中の電極の過熱を防止 するために、中空に加工しており稼動中は常に冷却されている.なお溶接機は単相交流式であ る.

実験条件は,表-2に示した条件で,図-3のサイクルを連続的に繰返しおこなった.

繰返し溶接 初期加圧時間 26サイクル 通 電 時 20サイクル 間 保 時 時 10サイクル 間 開 放 時 58サイクル 間 7200 A 溶 接 電 流 極加圧力 240 kg 電 接 極軟鋼板 被 溶 材 1.0 mm 被溶接材板厚 溶 接ピッ 18.0 mm チ

表-2 実 験 条 件

スポット溶接を繰返すことによって、電極先端の摩粍を伴なう変形の状況を究明するため に、電極軸方向の変形量と電極先端の直径と電極先端の硬度をそれぞれ測定した.電極軸方向 の変形量の測定は、溶接点数0回のみは、図ー4(a)の方法で、溶接点数25回~1500回の間 は、図ー4(b)の方法に順じて、ブロックゲージおよび鋼球を介して、マイクロメータで 1/1000mm まで測定した.ついで、電極先端の直径は、所定の溶接点数だけ打点したのち、 図一5に示す被溶接材の溶着部の直径 d を倍率×10の拡大鏡で測定し、この d を電極先端の 直径にした.つぎに電極先端の硬度は、d の測定と同様に一定打点のスポット溶接をおこなっ たのち、マイクロビッカース硬度計を用いて、荷重 1 kg で電極の溶接部端面を測定した.以 上の3種類の測定結果は、図-7、図-8、図-9、図-10に示す.

一方,被溶接材のせん断強度を求めるために,溶接回数0回,100回,500回,1000回,1500 回のそれぞれの時点で,JIS Z 3136 に順じた引張せん断試験片を図-6の寸法<sup>5),6)</sup> に作成し たのち,30 ton のアムスラー引張試験機でせん断力を測定した.さらに,せん断応力を求める ため,先に測定したせん断力を図-5の盛上り頂点間の直径 d<sub>1</sub>から求めた断面積で割った値 でもって,みかけのせん断応力とした.図-11は,被溶接材のみかけのせん断応力と溶接点数 との関係を示す.



3.実験結果および考察

- 3 -

土井 昇・辻 宜秀・平井 守



本実験は,厚さ1mmの極軟鋼板に,**表一2**の実験条件でスポット溶接を繰返し,析出硬化 型銅合金材料で製作した電極が,溶接点数の増加によってどのように変形をし,またこの変形 によって被溶接材の溶接点のせん断強度がどのように変化するのか,これらの挙動を究明する ことが目的である.

ここで電極材料としての必要な条件をあげてみると、次のことがいえる.電極は直接被溶接 材と接触して、これに溶接電流を供給するものであるが、同時に溶接部に加圧力を加え、また 溶接部を外から冷却する作用をかねている.そのため、電極材料としては、電気および熱の伝 導性がよく、しかも硬度および機械的強度の高いものが要求される.一般の金属材料では、電 気伝導度と熱伝導度とは比例的傾向にあるが、機械的強度や硬度は、前者とは反対の傾向をも っている.そこで、電気伝導度や熱伝導度を大きく低下させることなく、かなり大きな硬度や 材料強度を維持するために、時効現象をもつ金属材料の使用が効果的である.

さて、図7~図10は、左側の縦軸に、上から電極先端の直径 d を、同軸の下の方に電極軸方 向の変形量 dl を、一方、図の右側の縦軸には、電極先端の硬度(溶接部の電極端面の硬度) をマイクロビッカース硬度で表わし、横軸は、溶接点数で図示した.図から明らかなように、 上側の電極と下側の電極の1対の両方を調べた.図一10は、市販の純銅丸棒から製作した電極 についての結果であり、他の3種類の析出硬化型銅合金で製作した電極との比較をおこない、 本実験の目的を考察するために、電気伝導度と熱伝導度とは大きいが、硬度や機械的強度の小

- 4 -



さい同種類の元素を含む材料として純銅を採用した.

まず最初に、図-7と図-8の結果を考察すると、表-1より Cr含有量は、図-7では1.1 %Cr で、電気伝導率は85%である.図-8では、0.78%Cr,0.13%Zr で電気伝導率は75%で ある.また硬度測定の結果では、溶接前の電極先端面の硬度は、前者の場合 155 Hv であり、 後者の合金では 180 Hv 前後になった.ところが溶接実験にはいると、溶接点数25回までに両 者共、急激に硬度低下をきたし、溶接点数 350 回以上で定常状態になっており、両者の硬度の 差は、ほとんどみられない.しかし電極先端の直径の変化は、溶接部の上部に取付けた電極と 下部に取付けた電極とでは、上部の電極先端面のへたりは大きく、下部電極の先端面のへたり は小さい.一方、電極の軸方向の変形量を調べた結果は、両合金の差はほとんどみられない. なお溶接点数 200 回までに、Cu-Cr-Zr 合金材に溶着が、わずかであるが発生し、電極先端の へたりは、溶接点数の初回で、Cu-Cr 合金材に比較して大きい.

ついで図-9は、Cu-Be-Ni-Co 合金材の結果であり、溶接前の硬度は、220 Hv 前後で高 いが、25回の溶接点数にいたるまでに著るしく硬度の低下をきたし、350回で定常状態に達す るが、前述の2種類の材料よりも定常状態での硬度は低い.そして電極軸方向の変形量、電極 先端の直径ともに、初期の溶接点数での増加の割合は大きく、この原因として考えられること は、この合金材の場合、溶接点数300回までは、被溶接材との溶着を生じており、したがって 電極先端のへたりは、ジュール熱による電極先端の変形と同時に溶着摩粍によって、やや増加

- 5 -

土井 昇・辻 宜秀・平井 守



している.そしてこの溶着を起こす理由は、2つ考えられる.まず第1に、Cu-Cr 材に比較 して、熱伝導率が悪いと考えられるので、この場合は溶接直後の熱の発散が悪く、先端が溶着 を起したのであろう.本実験の溶接条件は、被溶接材の厚さに対して加圧力を大きくして実験 したので、溶着の発生しやすい条件になってしまったものと考えられる.第2の理由として、 溶接開始直後の段階では、電極先端径が小さいので、被溶接材の接合面の電流密度に比較し て、電極と被溶接材との接触面の電流密度が非常に大きくなり、溶着を起こしたのではないか と考えられる.

したがって、Cu-Be-Ni-Co 合金材料で製作された電極は、加圧力を下げて電極先端の直径 を、最初から φ5 程度の大きさに加工して、溶着の起こらない条件で使用すれば、他の2種類 の合金材料からなる電極よりも、へたりの少ない結果を得ることは、可能であると思われる.

次に図-10は、純銅電極の結果を示すが、前述の3種類の電極に比較して、溶接実験前の硬度は105 Hv と低く、溶接点数が初期の段階で電極先端のへたりが急速におこり、300 回数以降で点数の増加とともに、わずかづつへたりが進行する.このことは、電極軸方向の変形にも現われており、他の3種類の合金材の電極よりも変形量は大きい.

電極の変形が,被溶接材の溶接点のせん断強度に及ぼす影響について,次に考察する.右の 図-11において,溶接点数1~5回目の引張試験によって得られた被溶接材のせん断強度は, 100回目のこれらのせん断強度に比較してすべての材料で,やや低い値になっている.これ



は、電極先端の径が小さいので、形成されるナゲットの最大直径が小さく、加圧力が板厚に対 して大きい実験条件でスポット溶接されたので、食い込みもやや大きく、したがって、せん断 力が低下をきたしたものと考える.そして、純銅電極をのぞく3種類の合金電極は、溶接点数 の増加によって、せん断強度に大きな低下はみられないが、純銅電極は、溶接点数の増加によ って、せん断強度の低下が目立つ.さらに Cu-Be-Ni-Co 材料は、比較的安定した強度を維持 している.Cu-Cr 材と Cu-Cr-Zr 材とは、溶接点数の変化によってよく似たせん断強度を示 している.そして、せん断強度の点からは、Zr の影響は、明らかではない.従来より、純銅電 極は、他の析出硬化型合金材料より安価であるので、さかんに利用されてきたが、せん断強度 に及ぼす純銅電極の変形の影響を考慮する場合、品質管理の関係から、溶接点数が 500 回程度 で電極先端の形状を、使用前の形状にきょうせいする必要がある.

なお、図中のせん断応力は、引張せん断力を、ナゲットの横断面積で割った値ではなくて、 図-5の d<sub>1</sub>を拡大鏡で測定し、d<sub>1</sub> による断面積で割ったみかけのせん断応力である。たとえ ナゲットの横断面積で割って求めたせん断応力であっても、真の横断面積ではなく、外見から の測定が出来ないので d<sub>1</sub> を仮定した.

さらに、薄板の場合は、厚板とちがって、図一6の引張試験片を引張ると、引張力の偏心の ため、曲げモーメントが働き、引張軸方向からある角度の方向に、せん断力が作用し、これと 直角の方向に、はく離力が作用するようになる.図一11のせん断応力は、このはく離力を除い

- 7 -





図-11

たせん断応力成分を示した.

次に,被溶接材が溶接部周辺に,図-5に示すような円形状の盛上りを起こしていることは 肉眼での観察でわかるが,一方の電極の方にも盛り上りが発生していることが,肉眼では識別 しがたいが,図-4(a)の方法によって得られる測定値から明らかにすることが可能であ る.この方法によれば,純銅電極を除く他の3種類の電極は,上部電極が下部電極よりも盛り 上り高さが大きくなっており,溶接点数の増加によって高さは,増加減少を繰返している.し かしながら盛り上り現象と被溶接材のせん断強度との関係や,盛り上りの原因については明ら かではない.

図-12, 13, 14, 15は、本実験に用いた電極材料の金属組織であり、過硫酸アンモン溶液中で電解腐食をしたあと、倍率×400で光学顕微鏡によって検鏡した.

図-12は、Cr が Cu の a 固溶体のマトリックス全体に、分散析出しているのがみられる. 図-13は、粒内に時効処理前の冷間加工組織がみられ、Cu-Cr 合金の場合よりも分散の量は 少ないが、マトリックスに Cr の分散析出がみられる.そして、Cu-Cr-Zr 合金の場合は、Cu -Cr の二元合金よりも a 相中への溶質の固溶量が大きく、CuZr の析出物<sup>8)</sup>は、微細であり、 図-14からは明らかではないが、加工組織が時効処理後にもみられることは、セル壁上への不 均一析出<sup>8)</sup>を起こし、セル構造を安定化させているものと考えられる.このことは、溶接点数



図-14 Cu-Be-Ni--Co 合金 (×400)

図-15 Pure Cu (×400)

の増加とともに電極先端が、過時効の状態になっても急激に軟化しがたいことを意味するが、 1500回の溶接点数まででは、Cu-Cr 合金とほとんど差はない. さらに溶接点数を増やして、 比較してみる必要がある<sup>9)</sup>、次に図一14は、Cu-Be-Ni-Co 合金の検鏡組織である. 他の合金 の組織に比較して、結晶粒が微細であり、これは Co の添加<sup>7)</sup>によって、溶体化処理時の結晶 粒成長が阻止されており、CuBe 化合物(7固溶体)の粒界への不連続析出を抑制する結果で あり、焼もどしによる軟化を起りにくくしていると考えられる. しかし Co 元素の添加を増 加すると、硬度は増加するが、反面、電気伝導度の低下をきたす. さらに、Cu-Be 合金への Ni 元素の添加は、Be の Cu への固溶度をせばめ、Be 含有量が少なく時効硬化を生じない範 囲の合金でも、わずかな Ni元素の添加により顕著な硬化を生じる<sup>7),8)</sup>、図一14からは、まだ7 中間相の析出はみられない. 図一15は、純銅の金属組織であり、結晶粒内には加工組織がみら れるので、機械的強度から推定すれば、40~50%の冷間加工後、150°C 位で焼なましをおこな った材料であると考える.

#### 土井 昇·辻 宜秀·平井 守

# 4. 結 論

1) 電極の変形量を,軸方向と,溶接部端面について調査したが,溶着をともなう電極と,溶 着をともなわない電極とがあり,比較出来なかった.この点,溶着を発生しない溶接条件を, 見出す必要がある.

2) 電極先端の硬度は、スポット溶接前後で著るしく変化し、溶接後数回で大きく低下する. さらに溶接点数の増加とともに減少し、300回以上で定常状態に達する.

3) 溶接点数1500回以内での, Cu-Cr 合金材と Cu-Cr-Zr 合金材との間には, 電極の変形に 差が生じなかった.

4) 被溶接材の溶接点のせん断強度は、Cu-Be-Ni-Co 合金材の電極によるものが大きく、また安定しているが、これについで Cu-Cr 合金材と Cu-Cr-Zr 合金材の電極によるものが、同程度のせん断強度であり、純銅電極は、500 回以上でせん断強度は低下してしまった。

5) 電極先端面の面積が、点接触の状態にあるときは、ナゲットの直径が小さくそれだけせん 断強度は低下するが、純銅電極のように先端面の面積の増加が起こると、溶接時の電流密度が 低下してナゲットのせん断強度は低下することがわかった.

### 参考文献

- 1) 村上陽太郎, 河野 修: 日本金属学会会誌, Vol. 21-12, p. 724-728 (1957)
- 2) 和泉 修,福田 弘:日本金属学会会誌, Vol. 25-1, p. 84-87 (1960)
- 3) 土井俊雄:日本金属学会会誌, Vol. 6-6 (1958)
- 4) 西川精一,長田和雄,小林繁美:日本金属学会会誌, Vol. 30-3 (1966)
- 5) 鈴木義春:改訂最新溶接工学, p. 336-351
- 6) 溶接学会:溶接便覧, p. 278-304
- 7) 日本金属学会:金属便覧, p. 1282-1296
- 8) 幸田成康: 合金の析出, p. 439-457
- 9) A. Mihajlovic, S. Malcic and O. Nesic: J. Inst. Metals, vol. 99, 2614 (1971)
- 10) H. J. Fisher, D. A. Hay, and W. L. Finlay: J. Inst. Metals, vol. 98, 2608 (1970)